

# **ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВА И СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТИТАНОВОГО СПЛАВА VST5553**

***Желнина А.В.***

*Руководитель – доцент, к.т.н. Илларионов А.Г., Савватеева Г.В. \*,  
Калиенко М.С. \**

УрФУ, Екатеринбург

\*ОАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА», Верхняя Салда  
anzhelnina@rambler.ru

Титановый сплав VST5553 относится к высокопрочным ( $\alpha + \beta$ ) – сплавам переходного класса и используются для изготовления силовых деталей конструкции планера и шасси. Комплекс физико-механических свойств сплава VST5553 во многом определяется скоростью охлаждения при высокотемпературной обработке, которая может сильно варьироваться (в десятки раз) по сечению крупногабаритных полуфабрикатов. Однако исследований в данном направлении проведено недостаточно и рассмотрению этого вопроса посвящена настоящая работа.

Работа была проведена на образцах из горячекатаного прутка диаметром 35 мм сплава VST5553, предоставленных ОАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА». Образцы для исследования термообработывали по следующим режимам:

- схема 1 - нагрев в ( $\alpha + \beta$ ) - область до  $T_{\text{пл}} - 30$  °С (811 °С), охлаждение со скоростями в интервале 6000 ... 1 °С/мин;

- схема 2 отличается наличием предварительного нагрева в однофазную  $\beta$  - область.

Исследование методом рентгеноструктурного фазового анализа показало, что с уменьшением скорости охлаждения количество  $\alpha$  - фазы в структуре увеличивается с 12 до 48 % (схема 1) и с 16 до 64 % (схема 2). При обработке по схеме 1 монотонность зависимости нарушается при скорости охлаждения 17,6 °С/мин (рисунок 1). Немонотонный характер зависимости наблюдается при скорости охлаждения 10,8 и 16,3 °С/мин (схема 2), что может быть связано со сменой механизма распада с промежуточного на диффузионный (рисунок 2).

Исследование физико-механических свойств (модуля упругости и твёрдости по Виккерсу) показало, что их изменение зависимости от скорости охлаждения из ( $\alpha + \beta$ ) - области носит нелинейный характер. При скорости охлаждения из ( $\alpha + \beta$ ) – область 6000 ... 44,4 °С/мин объёмная доля  $\alpha$  – фазы в структуре примерно одинаковая (~ 17 %) после двух рассматриваемых режимов термообработки. Однако в структуре после

термообработки по схеме 1 (без предварительного нагрева в  $\beta$  – область) присутствует большее количество дефектов, более мелкий размер  $\beta$  – зерна, более дисперсные выделения глобул  $\alpha$  – фазы и, как следствие, повышенная плотность межфазных границ. Кроме того, при скорости охлаждения 44,4 °C/мин наблюдаются выделения высокомолекулярной низкотемпературной  $\alpha$  – фазы (рисунок 7). Всё выше перечисленное в комплексе приводит к более высоким значениям физико-механических характеристик, а именно твёрдости по Виккерсу и модуля упругости, после термообработки по схеме 1, чем после термообработки по схеме 2: 340 HV и 91 ГПа, 330 HV и 85 ГПа соответственно (рисунок 3 - 6).

При меньших скоростях охлаждения в интервале 17,6 ... 1 °C/мин количество первичной  $\alpha$  – фазы больше после термообработки по схеме 2 (39...64 % и 24...48 %, соответственно), что приводит к более высоким показателям модуля упругости (рисунок 6).

Близкие значения твёрдости по Виккерсу для исследуемых режимов термообработки после охлаждения из ( $\alpha + \beta$ ) – области со скоростями в интервале 17,6 ... 10,8 °C/мин связаны с тем, что после термообработки по схеме 1 объёмная доля первичной  $\alpha$  – фазы меньше, но дисперсность выше, а после термообработки по схеме 2 объёмная доля первичной  $\alpha$  – фазы выше (рисунок 1 – 4).

При скоростях охлаждения 5 и 1 °C/мин объёмная доля первичной  $\alpha$  – фазы существенно выше после термообработки по схеме 2, чем по схеме 1, что является причиной более высоких значений твёрдости для термообработки с нагревом в  $\beta$  – область (400 и 370 HV; 367 и 364 HV, соответственно) (рисунок 1 – 4).

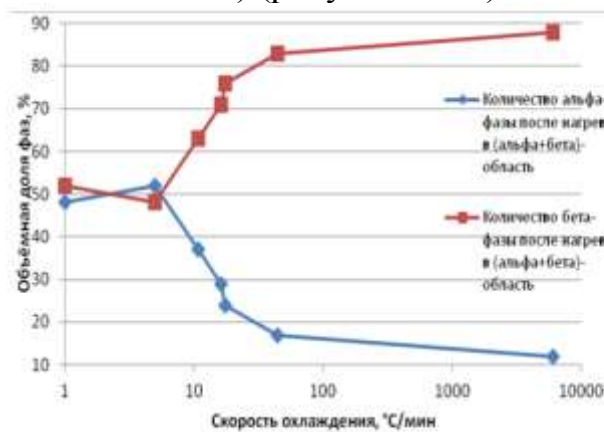


Рисунок 1 Объёмная доля  $\alpha$  и  $\beta$  – фазы в зависимости от скорости охлаждения после обработки по схеме 1

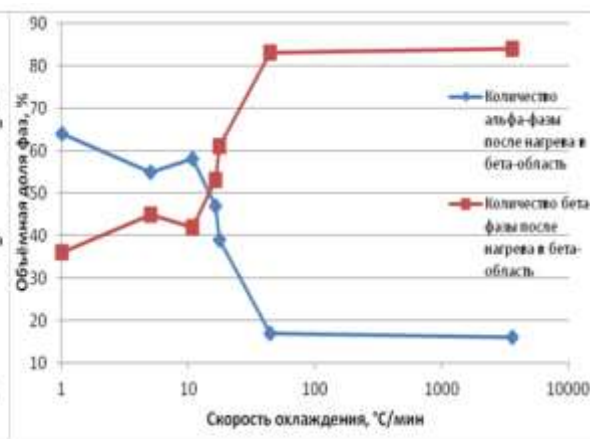


Рисунок 2 Объёмная доля  $\alpha$  и  $\beta$  – фазы в зависимости от скорости охлаждения после обработки по схеме 2

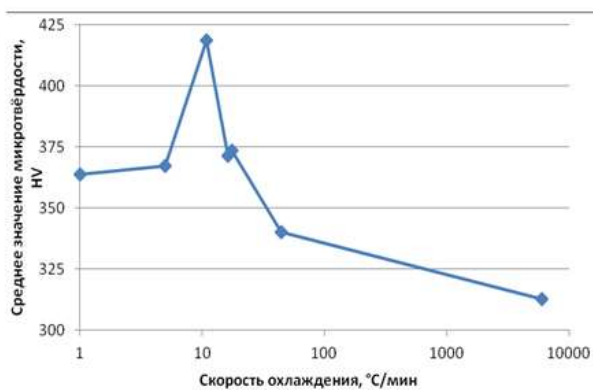


Рисунок 3 Зависимость средних значений твёрдости по Виккерсу от скорости охлаждения после обработки по схеме 1

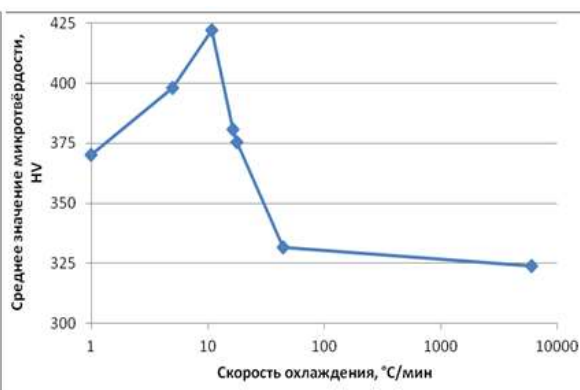


Рисунок 4 Зависимость средних значений твёрдости по Виккерсу от скорости охлаждения после обработки по схеме 2

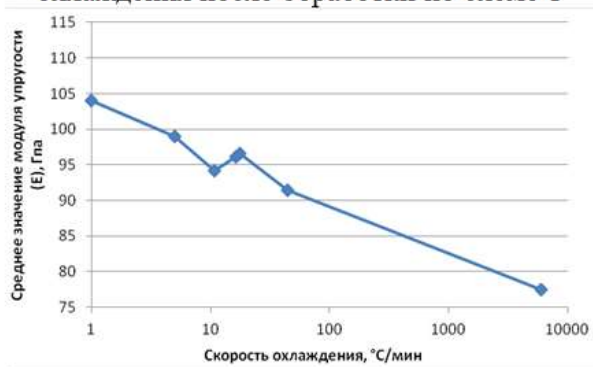


Рисунок 5 Зависимость средних значений модуля упругости от скорости охлаждения после обработки по схеме 1

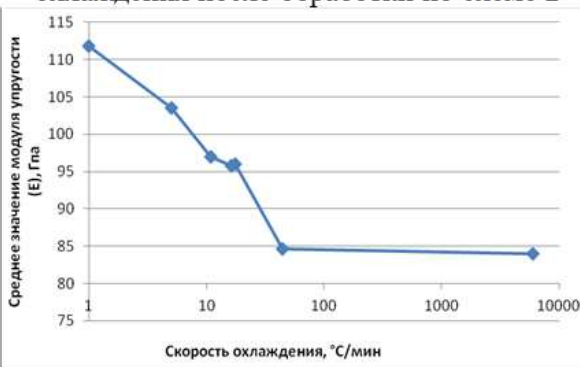


Рисунок 6 Зависимость средних значений модуля упругости от скорости охлаждения после обработки по схеме 2

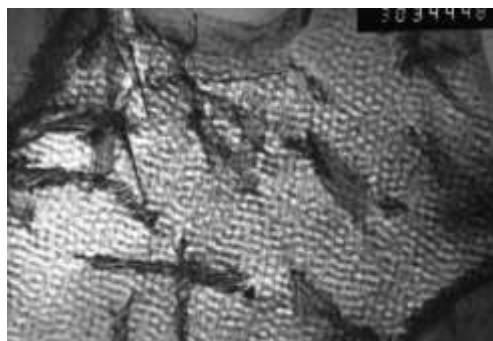


Рисунок 7 Микроструктура после термообработки по схеме 1 со скоростью охлаждения из  $(\alpha + \beta)$  – области 44,4 °C/мин, x30000

Таким образом, полученные в ходе работы результаты показывают, что в полуфабрикате из сплава VST5553 варьирование скорости охлаждения из  $(\alpha + \beta)$  – области после обработки по схемам 1 и 2 приводит к существенному изменению физико-механических свойств. При этом значения твёрдости коррелируют с изменением размера выделений  $\alpha$  – фазы и её объёмной доли, а на характеристики модуля упругости оказывает влияние объёмная доля  $\alpha$  – фазы.